Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 647-662

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 662-647

بهینه‌سازی راندمان تولید پودر رب گوجه‌فرنگی با استفاده از خشک‌کن پاششی و ارزیابی ویژگی‌های کیفی آن

عادل دزیانی[1]- امان محمد ضیائی‌فر[2]*- سید مهدی جعفری[3]- محمد قربانی[3]- علیرضا صادقی ماهونک[3]

تاریخ دریافت: 1394/10/01
تاریخ پذیرش: 1395/02/11

چکیده

حساسیت بالای آب‌میوه‌ها و سبزیجات به حرارت منجربه توسعه روش خشک کردن پاششی جهت خشک کردن این دسته از محصولات گردیده است. تحقیق حاضر به‌منظور بررسی و ارزیابی اثر دمای هوای ورودی خشک‌کن (۱۲۰،۱۵۰و 180°C) و غلظت کمک خشک‌کن یا حامل مالتودکسترین و ایزوله پروتئین آب‌پنیر با نسبت 4 به 1 (25 ، 37/5 و 50 درصد وزنی/ وزنی) بر خصوصیات کیفی و کمی پودر رب گوجه‌فرنگی شامل مقدار رطوبت، دانسیته توده‌ای، حلالیت، شکل و ساختار پودر و همچنین مقدار لیکوپن آن و راندمان تولید پودر انجام شده است. جهت انتخاب شرایط بهینه تولید پودر از روش سطح پاسخ استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن، راندمان (غیرمعنی‌دار) و حلالیت (معنی‌دار) پودر افزایش‌یافته، درحالی‌که، مقدار رطوبت (معنی‌دار)، دانسیته توده (غیرمعنی‌دار) و مقدار لیکوپن پودر (معنی‌دار) کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش غلظت حامل راندمان تولید، حلالیت و مقدار لیکوپن پودر افزایش یافت درحالی‌که مقدار رطوبت و دانسیته توده پودر کاهش نشان داد. شرایط بهینه به‌منظور دستیابی به بیش‌ترین راندمان تولید، حلالیت، مقدار لیکوپن پودر و کم‌ترین مقدار رطوبت، دانسیته توده، در دمای 150°C و غلظت حامل 50 درصد (وزنی/ وزنی)، حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: پودر رب گوجه‌فرنگی، خشک کردن پاششی، حامل مالتودکسترین و ایزوله پروتئین آب پنیر، بهینه‌سازی

مقدمه

بشر از دیرباز به‌منظور نگهداری و کاهش ضایعات محصولات کشاورزی از فرآیند خشک کردن استفاده می‌کند. فرآیند خشک کردن برای محصولاتی با قابلیت از دست دادن رطوبت در حد رضایت‌بخش برای بسته‌بندی، انتقال و نگهداری آن‌ها، بدون تأثیری شدید بر ویژگی‌های محصول به‌کار می‌رود. (keey, 1978; Tsujimoto *et al*.,1991).

خشک کردن پاششی یکی از مطلوب‌ترین روش‌های خشک کردن ماده غذایی با حفظ بهتر کیفیت اولیه آن است. در این روش، مایعات به‌صورت محلول، سوسپانسیون، خمیر و یا کنسانتره به پاشنده پمپاژ شده و ذرات ریز خروجی درتماس با جریان هوای گرم داخل محفظه خشک‌کن به پودر تبدیل می‌شود. در این روش، زمان خشک شدن بسیار کوتاه‌تر از دیگر روش‌های خشک شدن می‌باشد و می‌توان با کنترل زمان اقامت مواد در خشک‌کن ضایعات یا صدمات حرارتی وارده به ماده غذایی محصولات غذایی را به حداقل رساند. از این‌رو در خشک‌کن‌های پاششی ویژگی‌های کیفی و کمی محصول نهایی به‌نحوه بهتری قابل‌کنترل بوده و می‌توان از آن‌ها به‌منظور خشک‌کردن مداوم مواد غذایی حساس به حرارت استفاده کرد. با طراحی مناسب و کنترل فرآیند خشک‌شدن، مواد غذایی حساس به گرما، مواد بیولوژیک و دارویی را می‌توان در فشار اتمسفر و در دمای پایین خشک کرد (Tang *et al*.,1999).

استفاده از پودر آب‌میوه‌ها می‌تواند به‌عنوان ترکیبی افزودنی برای ایجاد رنگ یا مزه در مواد غذایی و یا دارویی جایگزین شود. از سوی دیگر کاهش هزینه حمل و نقل، بسته‌بندی راحت و مناسب و امکان استفاده مستقیم پودرها به‌عنوان مواد اولیه و انتقال خیلی راحت‌تر نسبت به کنسانتره از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است (Shrestha *et al*., 2007).

پودر گوجه‌فرنگی دارای فواید بسیار زیادی از جمله سهولت بسته‌بندی، حمل و نقل و مخلوط کردن می‌باشد. هم‌چنین مانند رب گوجه‌فرنگی به دیواره‌های ظروف بسته‌بندی نمی‌چسبد (Masters, 1985). علاوه بر این پودر گوجه‌فرنگی توسط تولیدکنندگان سوپ‌های

1، 2 و 3- دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، استادیار و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
(* - نویسنده مسئول: Email: ziaiifar@gau.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v1395i0.52414

دهیدراته[1] بسیار مورد توجه قرارگرفته است (Greensmith, 1998). هم‌چنین در بسیاری از محصولات غذایی، عمدتاً سوپ‌ها، سس‌ها و کچاب به‌عنوان مواد تشکیل‌دهنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل فیزیکی پودرهای گوجه‌فرنگی یک حالت پایدار و طبیعی را فراهم می‌کند که می‌تواند به‌منظور انتقال طعم و رنگ به محصولات غذایی استفاده شود. در هر حال، بالا بودن خاصیت جذب رطوبت و نرم شدن در اثر حرارت پودرها باعث مشکلاتی مانند چسبیدن به دیواره محفظه خشک‌کن در حین خشک کردن می‌شود (Bhandari *et al*., 1993).

نگهداری گوجه‌فرنگی از لحاظ تجاری بسیار حائز اهمیت است. گوجه‌فرنگی به‌عنوان جزئی از سالاد سبزیجات و غذاهای تند شناخته‌شده و در بسیاری از کشورها کنسرو گوجه‌فرنگی یکی از اصلی‌ترین محصولات کنسرو شده تلقی می‌گردد. کیفیت گوجه‌فرنگی به وسیله طعم و رنگ خود مشخص می‌شود و هم‌چنین حاوی بسیاری از ویتامین‌ها از جمله ویتامین c، کاروتنوئیدها و سایر مواد مغذی با ارزش است (Baloch *et al*., 1997).

لیکوپن ترکیب زیست فعالی مغذی می‌باشد که باعث جذب رادیکال‌های آزاد اکسیژن شده و می‌تواند به‌عنوان یک شاخص ارزشمند برای محصولات گوجه‌فرنگی در نظر گرفته شود. نتایج تحقیقات نشان می دهد که حرارت دادن و خشک کردن این محصولات تحت شرایط فرآوری جهت تولید پودر گوجه‌فرنگی ممکن است سبب تخریب لیکوپن گردد. تحقیقات نشان داده است که توانایی از بین بردن رادیکال های آزاد اکسیژن به وسیله لیکوپن 2 برابر بیش تر از بتا کاروتن و 10 برابر بیشتر از آلفا توکوفرول است (Goula *et al*., 2006; Sharma *et al*., 1996).

چسبندگی ذرات به دیواره محفظه خشک‌کن تحت تأثیر ماهیت ماده ورودی به خشک‌کن و شرایط خشک کردن قرار داردکه در خصوص مواد حاوی قند نظیر آب‌میوه‌ها و گوجه‌فرنگی، این پارامتر از اهمیت خاصی در فرآیند خشک کردن برخوردار می‌باشد Bhandari (*et al*., 1997).

یکی از روش‌های کاهش چسبندگی ذرات در خشک کردن پاششی استفاده از کمک خشک‌کن‌ها یا حامل‌ها[2] است که وزن مولکولی بالای این مواد، دمای انتقال شیشه‌ای ذرات تولیدی را افزایش می‌دهد (Kabral *et al*., 2009).

گولا و آداموپولوس (2010)، برای خشک کردن پاششی کنسانتره آب پرتقال هوای داغ رطوبت‌گیری شده به‌عنوان محیط خشک کردن و مالتودکسترین به‌عنوان حامل خشک کردن استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که ترکیب مالتودکسترین و هوای رطوبت‌گیری شده مورد استفاده،کارایی فرآیند خشک کردن را افزایش داده و میزان رسوبات باقی‌مانده بر دیواره خشک‌کن کاهش می‌یابد.

کومار و همکاران (2014)، اثر حامل‌های خشک‌کننده مالتودکسترین باDE=20، صمغ عربی و کنسانتره پروتئین آب پنیر را بر خصوصیات فیزیکی و ساختاری پودر پالپ تمر هندی[3] مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که تمامی حامل‌ها منجربه بهبود راندمان تولید در نتیجه افزایش غلظت آن در ماده خوراک شده، که در این بین کنسانتره پروتئین آب پنیر راندمان تولید بیشتری (76/23 درصد) نسبت به بقیه می‌شود. هم‌چنین خواص رنگی و مقدار رطوبت پودرهای حاصل به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر نوع حامل و مقدار آن قرار داشته است. علاوه بر این، دانسیته توده‌ای و جذب رطوبت پودرها با افزایش مقدار حامل در ماده خوراک کاهش پیدا کرده و پودرهای دارای کنسانتره پروتئین آب‌پنیر دارای جذب رطوبت کم‌تری بوده‌اند. بررسی‌های میکروساختاری پودرها حاکی از آن بود که ذرات پودر شکل‌ها و اندازه‌های متفاوتی (کروی، نامنظم و چروکیده) دارند.

کوک و همکاران (2007)، خواص فیزیکوشیمیایی پودر هندوانه تولید شده به‌وسیله خشک‌کن پاششی آزمایشگاهی را مورد پژوهش قرار دادند. در این مطالعه برای فرآیند خشک کردن در دماهای ورودی 145، 155، 165 و 175 درجه سانتی‌گراد و حامل مالتودکسترین در مقادیر 3 و 5 درصد به کار گرفته شد. نتایج نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن، مقدار رطوبت و حلالیت کاهش می‌یابد درحالی‌که دماهای مختلف بر فعالیت آبی پودر تولیدی تأثیر قابل توجهی نداشته است و مقادیر L^*، a^* و b^* با تغییر دمای هوای ورودی تغییر می‌کند.

میشرا و همکاران (2013)، تأثیر غلظت مالتودکسترین و دمای ورودی در طی خشک کردن پاششی بر خواص آنتی‌اکسیدانی و فیزیکوشیمیایی پودر آب‌میوه آملا[4] (نوعی میوه گرمسیری) را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، دمای هوای ورودی 125، 150، 175 و 200 درجه سانتی‌گراد و غلظت مالتودکسترین 3، 5، 7 و 9 درصد در نظر گرفته شد. مقدار رطوبت و جذب رطوبت پودر به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر دمای ورودی و مقدار مالتودکسترین قرار داشت. این درحالی بود که مقدار مالتودکسترین اثر بسزایی بر دانسیته توده‌ای و حلالیت پودر نداشت. بررسی‌های ریز ساختار پودرها هم‌چنین، نشان داد که کوچک‌ترین ذرات در بالاترین دمای ورودی خشک‌کن تولید می‌شوند. در این پژوهش، پودر تولیدی با غلظت مالتودکسترین 7% و دمای ورودی 175 درجه سانتی‌گراد دارای جذب رطوبت پایین و رنگ قابل قبولی بودند.

تحقیق حاضر به‌منظور بررسی و ارزیابی اثر دمای هوای ورودی خشک‌کن پاششی نیمه صنعتی (۱۲۰،۱۵۰و 180°C) و غلظت حامل

1 Dehydrated soups
2 Carrier agent
3Tamarind pulp powder
4 *Amla*

مالتودکسترین در ترکیب با ایزوله پروتئین آب‌پنیر با نسبت 4 به 1 (25، 37/5 و 50 درصد وزنی/وزنی) بر خصوصیات کیفی و کمی پودر رب گوجه‌فرنگی تولیدی شامل مقدار رطوبت، دانسیته توده‌ای، حلالیت، شکل و ساختار پودر و هم‌چنین مقدار لیکوپن و بهینه‌سازی راندمان تولیدآن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

رب گوجه‌فرنگی واریته *S.lycopersicum* از شرکت صنایع‌غذایی کامنوش واقع در استان گلستان خریداری شد، لیکوپن از شرکت آنهویی مین متالز دولوپمنت[1] (آنهویی چین)، مالتودکسترین با دکستروز اکی‌والان 18 از شرکت کینهانگدائو لیهو[2] (کینگهادائو، چین)، ایزوله پروتئین آب‌پنیر (80 درصد) از شرکت سیگما، پترولیوم اتر، سدیم هیدروکسید و پتاسیم هیدروکسید، استون و متانول از شرکت مرک آلمان تهیه گردیدند.

تولید خوراک

برای تولید خوراک ورودی به خشک‌کن پاششی، محلول حامل (مالتودکسترین در ترکیب با ایزوله پروتئین آب‌پنیر با نسبت 4 به 1) با رب گوجه‌فرنگی (بریکس 36/5 درصد) ابتدا با هم‌زن و سپس با هموژنایزر دور بالا (D91126، شرکت هایدولف، آلمان)، با سرعت 8000 دور در دقیقه مخلوط شدند. مقدار حامل اضافه شده به رب گوجه‌فرنگی 25، 37/5 و 50 درصد بر اساس وزن ماده خشک رب گوجه‌فرنگی و بریکس نهایی خوراک 20 درصد بود. نمونه‌های خوراک قبل از ورود به خشک‌کن پاششی تا دمای 70 درجه سانتی‌گراد پیش‌گرم شدند.

لازم به ذکر است که برای تولید محلول حامل مقدار مشخص شده آن در مقدار محاسبه‌شده‌ای از آب مقطر حل گردید و به مدت یک شب در حمام بن ماری در دمای 45 درجه سانتی‌گراد به‌منظور اطمینان از هیدراته شدن کامل حامل و ایجاد یک محلول شفاف، نگهداری شد (Kaushik, 2007).

تولید پودر رب گوجه‌فرنگی

برای تولید پودر، خوراک‌های تولید شده به یک خشک‌کن پاششی نیمه صنعتی (آذرمخزن، ایران) با ارتفاع 3 متر و قطر 1/5 متر منتقل شدند. حجم محفظه خوراک این خشک‌کن حدود 700 گرم بود که 500 گرم خوراک تهیه شده در آن ریخته شد. هم‌چنین خشک‌کن به یک کمپرسور هوای فشرده متصل بود که فشار هوای خروجی از آن حدود 2 بار بود. بخشی از هوای فشرده خروجی از کمپرسور به محفظه خوراک وارد شده و در آن‌جا نیروی مورد نیاز جهت انتقال سیال به بالای برج خشک‌کن را تأمین می‌کرد. بخش دیگر هوای فشرده مستقیماً به سمت نازل خشک‌کن حرکت کرده و در آن‌جا فشار مناسب جهت خروج مواد از سر نازل، ریز کردن یا اسپری کردن خوراک را تأمین می‌کرد. قطر سر نازل خشک‌کن پاششی، 0/5 میلی‌متر بود. برای خشک کردن خوراک، غلظت حامل (25، 37/5، و 50 درصد) و دمای هوای ورودی خشک‌کن (120، 150 و 180°C) به‌عنوان متغیر خشک کردن در نظر گرفته شدند. هم‌چنین فشار هوای نازل بر روی 2 بار و دمای خوراک 70 درجه سانتی‌گراد ثابت در نظر گرفته شد. خوراک‌ها پس از خشک شدن در محفظه محصول جمع‌آوری شده و سپس در ظروف پلاستیکی تیره و کاملاً دربسته نگهداری شدند. به‌منظور بررسی کیفیت پودرهای تولید شده، راندمان تولید، مقدار رطوبت، حلالیت، دانسیته توده‌ای و مقدار لیکوپن اندازه‌گیری شدند. هم‌چنین آنالیزهای ریزساختار نمونه‌های پودر از لحاظ شکل و ساختار ذرات نیز انجام شد.

آزمون های پودر

راندمان تولید پودر

راندمان تولید پودر یکی از شاخص‌های اصلی عملکرد خشک‌کن پاششی است. راندمان کلی پودر خشک شده طبق معادله (1) محاسبه شد (Bhandari *et al*., 1997).

% production efficiency= (total weight of resulting powder on dry basis/ total solid content in feed) × 100 (1)

production efficiency%: درصد راندمان تولید پودر

Total weight of resulting powder on dry basis: وزن پودر تولیدی بر پایه خشک (گرم)

Total solid content in feed: مواد جامد کل خوراک (گرم)

درصد رطوبت پودر

برای اندازه‌گیری رطوبت، 5 گرم از هر نمونه تولیدی پودرها در آون با دمای 105 درجه سانتی‌گراد قرارگرفته و در زمان‌های مختلف توزین شد تا زمانی که تغییر وزن مشاهده نشد (AOAC, 2005). در نهایت با داشتن وزن اولیه و وزن خشک نمونه‌ها ، درصد رطوبت طبق معادله(2) مشخص شد.

% moisture content (wet basis)= $(w_1 - w)/ w_1 \times 100$ (2)

moisture content (wet basis)%: درصد رطوبت پودرها بر پایه مرطوب

w_1: وزن اولیه

w: وزن خشک

1 Anhui Minmetals Development Co. Ltd
2 Qinhuangdao Lihua Starch Co. Ldt

دانسیته توده پودر

برای محاسبه دانسیته توده‌ای پودرها، 2 گرم از آن‌ها توزین شده و در استوانه مدرج 10 میلی‌لیتری ریخته شد وسه بار به آن ضربه زده شد تا پودرهای چسبیده به دیواره جدا شده و در کف استوانه متراکم شود. حجمی که این مقدار پودر دارد، توسط ارتفاعی که در استوانه مدرج بالا آمده بود، محاسبه شده و مقدار دانسیته توده‌ای به‌صورت معادله (3) محاسبه شد (Goula *et al*., 2012).

$$m \;/\; v = \rho \qquad (3)$$

ρ: دانسیته توده (گرم بر سانتی‌متر مکعب)

m: وزن پودر (گرم)

v: حجم وزن مشخص از آن پودر (سانتی‌متر مکعب)

حلالیت پودر

شاخص حلالیت در آب[1] تمام نمونه‌های پودر بر اساس روش کانو و همکاران (2005) انجام شد. به‌طور مشخص، 50 میلی‌لیتر آب مقطر به یک بشر 200 میلی‌لیتری انتقال داده شد و 5 گرم پودر به ظرف اضافه شد و سپس بر روی هم‌زن مغناطیسی با سرعت 800 دور در دقیقه برای مدت 5 دقیقه در دمای اتاق (25 درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. مخلوط بدست آمده با سرعت 3000 دور در دقیقه برای مدت 5 دقیقه سانتریفوژ گردید. سپس 25 میلی‌لیتر از مایع رویی[2] به یک پتری دیش از قبل توزین شده انتقال یافت و در آون با دمای 105 درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت. درصد حلالیت بر اساس وزن سوپرناتانت خشک شده در برابر وزن پودر اولیه طبق معادله (4) تعیین شد.

$$\%Solubility = s \;/\; m \times 100 \qquad (4)$$

Solubility%: درصد حلالیت

s: وزن سوپرناتانت خشک شده (گرم)

m: وزن پودر اولیه (5 گرم)

آنالیز لیکوپن پودر

مقدار لیکوپن (میکروگرم بر گرم مواد جامد) به‌وسیله روش اسپکتروفتومتری بر اساس استخراج در پترولیوم اتر در طول موج 505 نانومترتوسط یک اسپکتروفتومتر مرئی- ماوراءبنفش تعیین شد (اسپکتروفتومتر مرئی- ماوراءبنفش T80 شرکت پی‌جی اینسترومنتس انگلیس). 1 گرم از نمونه پودر با دقت توزین شد سپس با 60 میلی‌لیتر پترولیوم اتر و 75 میلی‌لیتر استون (دمای 100-65 درجه سانتی‌گراد) مخلوط شده و به مدت 5 دقیقه هم زده شدند. مخلوط به‌وسیله پشم‌شیشه برای جلوگیری از ورود مواد جامد صاف شد و به یک قیف جداساز 500 میلی‌لیتری انتقال داده شد. عصاره استخراج شده سه مرتبه با آب مقطر شسته شد، سپس فاز زیرین دور ریخته شد و فاز رویین با 20 میلی‌لیتر متانول خلوص 90 درصد به مدت 30 ثانیه مخلوط شد. پس از آن فاز زیرین دور ریخته شده و فاز رویین با 20 میلی‌لیتر KOH20 درصد در متانول به مدت 30 ثانیه مخلوط شد. فاز زیرین دور ریخته و فاز رویین دوباره با متانول خلوص 90 درصد به‌مدت 30 ثانیه هم زده شد. فاز زیرین دور ریخته و فاز رویین سه مرتبه با آب مقطر شسته شد. در نهایت عصاره استخراج شده با پترولیوم اتر به حجم رسانده شد و فوراً جذب آن خوانده شد و با کمک منحنی استاندارد مقدار لیکوپن به‌دست آمد (Goula *et al*., 2005; Gould *et al*., 1988).

آنالیز ریزساختار پودر

برای بررسی ساختار و شکل پودرهای تولید شده از میکروسکوپ الکترونی رویشی[3] (PS230، پمترون، کره جنوبی) استفاده شد. بدین منظور مقدار کافی نمونه توسط لایه نازکی از طلا تحت شرایط خلأ پوشش داده شد و سپس درون دستگاه قرار گرفت. ولتاژ دستگاه 10KV و بزرگنمایی عکس‌ها 500× بودند (Solval *et al*., 2012; Bhusari *et al*., 2014).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

پس از انجام پیش‌تیمارهای اولیه و به‌دست آوردن دامنه مناسب متغیرهای مستقل، روش سطح پاسخ (RSM) در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) برای پیش‌بینی تأثیر متغیرهای تولید پودر شامل دمای هوای ورودی خشک‌کن (120، 150 و 180 درجه سانتی‌گراد) و غلظت حامل (25، 37/5 و 50 درصد) بر مقدار لیکوپن، راندمان تولید پودر و خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودر تولیدی به‌کاربرده شد. تیمارها در 11 آزمایش بر اساس طرح CCD شامل 3 تکرار در نقطه مرکزی چیده شد (جدول1). آنالیز داده‌ها و رسم نمودارها، به کمک نرم‌افزارهای Design-Expert 7.0.0 و Microsoft excel 2013 صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

بررسی اثرات متغیرها توسط روش سطح پاسخ

آنالیز واریانس برای ارزیابی اثرات معنی‌دار متغیرهای فرآیند بر روی هر یک از پاسخ‌ها انجام شد. توابع پاسخ در مورد پارامترهای اندازه‌گیری شده با استفاده از مدل‌های مختلف (خطی، دوفاکتوره و درجه دوم[4]) بر اساس ضریب همبستگی و ضریب همبستگی

---

1 Water Solubility Index
2 Supernatant
3 Scanning Electron Microscope (SEM)
4 Quadratic Model

تنظیم‌شده مقایسه شدند. به‌صورتی که مدلی که دارای بیش‌ترین مقادیر این فاکتورها باشد دارای قدرت پیش‌بینی بالا و دقت بیشتری خواهد بود. آنالیز واریانس برای تعیین عدم برازش[1] و معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و برهم‌کنش متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته صورت گرفت. اگر مقدار P برای آزمون عدم برازش در ANOVA، بزرگ‌تر مساوی 0/05 باشد، به معنای کافی بودن مدل برای پیش‌بینی پاسخ مورد نظر می‌باشد.

جدول 1- تیمارهای طراحی‌شده توسط طرح مرکب مرکزی

تیمار	دما (°C)	غلظت (٪ وزنی/و زنی)
1	150	37/5
2	150	25
3	150	50
4	180	37/5
5	120	37/5
6	180	50
7	120	25
8	150	37/5
9	120	50
10	180	25
11	150	37/5

بررسی راندمان تولید پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) راندمان تولید پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر میزان راندمان تولید پودر در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار نبود. بیش‌ترین و کمترین مقدار راندمان به ترتیب مربوط به تیمارهای 50°C، 180 درصد وزنی/ وزنی و 120°C، 37/5 درصد وزنی/ وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به‌ترتیب برابر 49/81 درصد و 28/3 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر 0/5075 بود. معادله (5) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی راندمان تولید پودر را نشان می‌دهد، که در آن p (راندمان تولید پودر)، T (دما) و C (غلظت حامل) است.

شکل 1 اثر متغیرهای مورد بررسی را بر راندمان تولید پودر نشان می‌دهد. راندمان تولید پودر یکی از شاخص‌های اصلی عملکرد خشک کن پاششی است. با افزایش دمای ورودی خشک کن راندمان تولید پودر افزایش یافته است که این امر می‌تواند. نتایج بررسی نشان داد که با افزایش دما به دلیل شارش بالاتر فرآیندهای انتقال حرارت و جرم و کاهش احتمالی برخورد ذرات خشک شده به دیواره خشک کن باشد (Tonon *et al*., 2008; Goul *et al*., 2005b).

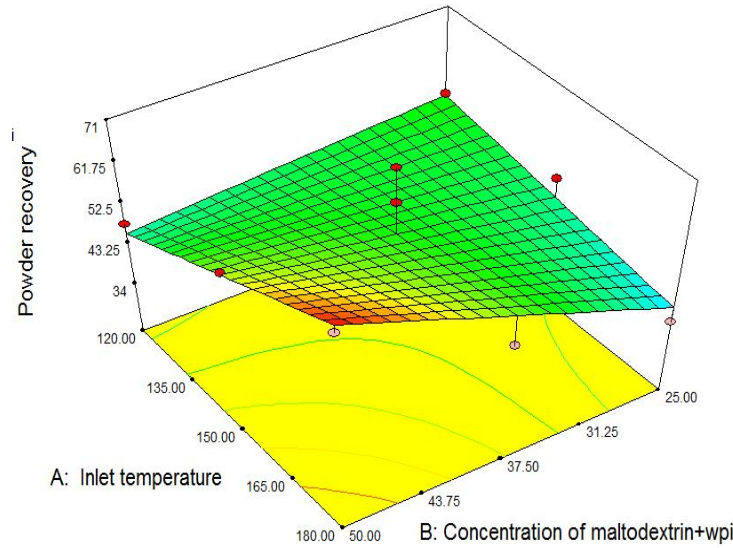
با این حال پاپاداکیس و همکاران (2006)، نشان دادند که با افزایش دمای هوای ورودی راندمان تولید پودر فرآیند خشک کردن کنسانتره آب کشمش کاهش می یابد. این کاهش راندمان تولید پودر به دلیل مشکلات چسبندگی و به این معنی است که دمای خشک کردن بالاتر از دمای انتقال شیشه ای آن است. نتایج مشابهی در افزایش راندمان پودر با افزایش دمای هوای ورودی توسط کای و همکاران (2000)، بانات و همکاران (2002)، فضائلی و همکاران (2012) و تونون و همکاران (2008)، که به ترتیب بر روی پودر بتاسیانین آمارانتوس ، رب گوجه فرنگی، آب توت‌سیاه و آکایی کارکرده اند مشاهده شده است. راندمان پودر با افزایش غلظت حامل نیز افزایش یافت. این افزایش راندمان تولید پودر را می‌توان ناشی از کاهش چسبندگی و رسوبات ذرات پودر بر دیواره محفظه خشک‌کن مرتبط دانست. یکی دیگر از عوامل ممکن است به دلیل افزایش برآیند دمای انتقال شیشه‌ای خوراک با افزایش غلظت حامل باشد. دمای انتقال شیشه‌ای برای مالتودکسترین با دکستروز اکی‌والان 20 نزدیک به 141 درجه سانتی‌گراد، صمغ عربی 160- 232 درجه سانتی‌گراد و پروتئین آب پنیر 153 درجه سانتی‌گراد است (Boonyai *et al*., 2004; Nurhadi *et al*., 2005).

نتایج مشابهی در افزایش راندمان پودر با افزایش غلظت حامل توسط پنگ و همکاران (2013)، کاراسلان و دالگیک (2012) و فوندچاندانگ و همکاران (2010)، که به‌ترتیب بر روی پودر آب‌لیمو، آرد سیب‌زمینی شیرین ارغوانی، عصاره شیرین‌بیان و آب زنجبیل کارکرده‌اند گزارش شده است. هم‌چنین کوروزووا و همکاران (2009) و شرستا و همکاران (2007)، به‌ترتیب نتایج مشابهی با پودر هیدرولیز شده پروتئین گوشت مرغ و پودر آب پرتقال دست یافتند. نتایج مشابهی به‌وسیله فانگ و همکاران (2012)، که بر روی خشک کردن پاششی آب‌میوه بایبری با استفاده از پروتئین آب‌پنیر و مالتودکسترین کارکرده اند مشاهده شده است. تا حد زیادی راندمان پودر با پروتئین افزایش یافته است که ممکن است به دلیل مهاجرت پروتئین در میان آب و هوا و تشکیل یک فیلم پروتئینی قوی باشد که زمانی که در معرض هوای داغ و خشک قرار می¬گیرد تبدیل به یک سطح شیشه‌ای می‌شود. پوست تشکیل‌شده قادر است بر به‌هم پیوستن قطرات و انعقاد آن‌ها و هم‌چنین بر فعل و انفعالات چسبندگی ذرات در محفظه خشک‌کن غلبه کند. این فیلم تشکیل شده ممکن است نسبتاً دمای انتقال شیشه‌ای بالاتری داشته باشد که می‌توانند برای غلبه بر ذرات چسبنده در حالت شیشه‌ای باقی بمانند (Adhikari *et al*., 2006).

---

[1] Lack of Fit

$$p = +142/74212 - 0/71061 \times T - 2/90800 \times C + 0/022333 \times T \times C \quad (5)$$

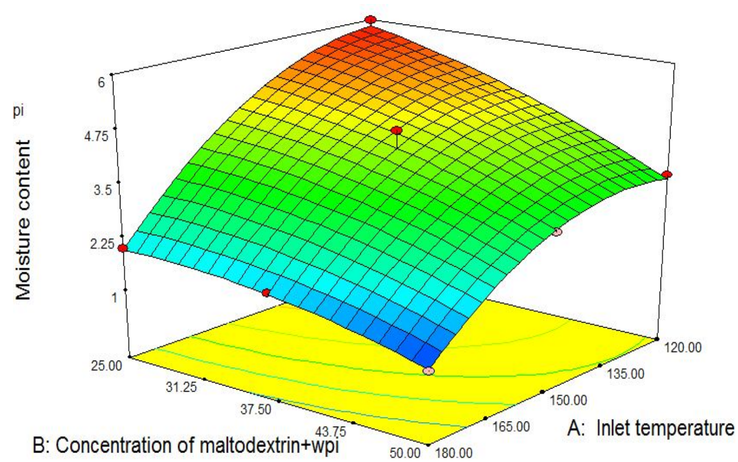


شکل 1- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل بر راندمان تولید پودر

بررسی درصد رطوبت پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مقدار رطوبت پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر مقدار رطوبت در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار رطوبت مربوط به تیمارهای °C 120، 25درصد وزنی/ وزنی و °C180، 50 درصد وزنی/ وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل درجه دوم و به ترتیب برابر 96/4 درصد و 92/79 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر 0/9203 بود. معادله (6) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی درصد رطوبت را نشان می‌دهد، که در آن MC (مقدار رطوبت)، T (دما) و C (غلظت حامل) است.

$$MC = -3/84912 + 0/20012 \times T - 0/097965 \times C + 1/06667 \times 10^{3} \times T \times C - 9/70760 \times 10^{4} \times T^{2} - 1/75158 \times 10^{3} \times C^{2} \quad (6)$$



شکل 2- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل بر درصدرطوبت پودر

مقدار رطوبت یک ویژگی ضروری برای تعیین پایداری و ذخیره‌سازی پودر است (Phisut, 2012). واضح است که در دماهای پایین‌تر خشک کردن نسبت به دماهای بالاتر ناکامل‌تر است که این به‌دلیل کاهش سرعت انتقال حرارت و جرم است (Stout *et al*., 2006). همان‌طور که در شکل 2 ملاحظه می‌شود مقدار رطوبت پودر با افزایش دمای ورودی خشک‌کن کاهش می‌یابد. اختلاف حرارت زیاد بین محیط خشک کردن و ذرات، آهنگ انتقال حرارت به ذرات را بالا خواهد برد که یک نیروی محرکه‌ای برای حذف رطوبت فراهم می‌کند. زمانی‌که خشک کردن توسط هوا انجام می‌شود دما یک نقش مهم ثانویه را ایفا می‌کند. این روند باید طی شود یا رطوبت یک فضای اشباعی را در سطح ذرات ایجاد می‌کند. این شرایط نرخ حذف آب را کند می‌کند. هوای داغ‌تر رطوبت بیش‌تری را قبل از رسیدن به‌حالت اشباع در خود نگه می‌دارد (Goula *et al*., 2010). نتایج مشابهی در کاهش رطوبت با افزایش دمای ورودی خشک‌کن توسط کوک و همکاران (2007)، راتس وهمکاران (2007) و گرابووسکی و همکاران (2006)، که به‌ترتیب بر روی پودر آب هندوانه، سدیم دیکلوفناک[1] و سیب‌زمینی شیرین کارکرده‌اند مشاهده شده است. با توجه به شکل 2 با افزایش غلظت حامل مقدار رطوبت کاهش می‌یابد. این کاهش ممکن است به این دلیل باشد که با افزایش غلظت حامل مقدار مواد جامد کل خوراک افزایش یافته که باعث کاهش رطوبت کل برای تبخیر می‌شود. نتایج مشابهی توسط کوروزووا و همکاران (2009)، فضائلی و همکاران (2012) و خا و همکاران (2010)، که به‌ترتیب با پودر هیدرولیز شده گوشت، پودر آب توت سیاه و پودردانه Gac کارکرده‌اند مشاهده شده است. اما گولا و همکاران (2010)، نشان دادند که با افزایش غلظت مالتودکسترین، رطوبت پودر آب‌پرتقال افزایش می‌یابد. دلیل آن‌ها بر این بود که برای مولکول‌های آب بسیار دشوار است که از مولکول‌های بزرگ مالتودکسترین عبور کنند و خارج شوند.

بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مقدار دانسیته توده‌ای پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر دانسیته توده در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار نبود. بیش‌ترین و کم‌ترین دانسیته توده‌ای مربوط به تیمارهای 150°C، 37/5 درصد وزنی- وزنی و 180°C، 50 درصد وزنی- وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به‌ترتیب برابر 34/76 درصد و 6/8 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر0/0606 بود. معادله (7) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی دانسیته توده را نشان می‌دهد.

بررسی دانسیته توده پودر

در معادله 7، BD (دانسیته توده)، T (دما) و C (غلظت حامل) است. دانسیته توده، تراکمی از ماده است زمانی که آن ماده بسته‌بندی شده یا به‌صورت فله‌ای انباشته شده است. همان‌طورکه در شکل3 مشاهده می شود با افزایش دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل دانسیته توده نیز کاهش می‌یابد. دانسیته با افزایش غلظت مالتودکسترین کاهش می یابد. این اثر ممکن است به این دلیل باشد که افزودن مالتودکسترین چسبیدن ذرات ترموپلاستیکی را به حداقل می‌رساند. علاوه بر این، افزایش در غلظت مالتودکسترین ممکن است باعث یک افزایش در حجم هوای محبوس شده در ذرات شود، چون در سطح ذرات تشکیل یک لایه را می‌دهد (Kwapińska *et al*,. 2005). ذراتی که روی آن‌ها لایه تشکیل شده است اغلب حاوی حباب های هوا هستند، که می‌تواند به علت وجود هوا در خوراک اولیه باشد یا در طول پاشش جذب شده باشد. عموماً، افزایش در حجم هوای محبوس شده سبب کاهش در دانسیته ظاهری ذرات می شود و این دانسیته ظاهری در درجه اول تعیین‌کننده دانسیته توده پودر است (Goula *et al*., 2010). نتایج مشابهی در ارتباط با پودر آب توت سیاه، پودر آب انار، پودر رب گوجه فرنگی و پودر پالپ تمبر هندی گزارش شده است (Fazaeil *et al*., 2012; Yousefi *et al*., 2011; Banat *et al*., 2002 Bhusari *et al*., 2014).

دانسیته توده با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن کاهش می یابد. این امر به دلیل آن است که آهنگ تبخیر سریع تر می شود و ذرات خشک شده ساختار متخلخل به‌خود می¬گیرند. والتون (2000)، گزارش کرد که افزایش در دمای ورودی معمولاً یک کاهشی را در دانسیته توده¬ و دانسیته ذره‌ای سبب می‌شود، و تمایل زیادی برای ذراتی که به شکل توخالی درآیند وجود دارد.

بررسی حلالیت پودر

در معادله 8، S (حلالیت)، T (دما) و C (غلظت حامل) است. بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مقدار حلالیت پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر حلالیت پودر در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار حلالیت مربوط به تیمارهای 180°C، 50 درصد وزنی- وزنی و 120°C، 25 درصد وزنی- وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به‌ترتیب برابر 74/29 درصد، 63/27 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر 0/1879 بود. معادله (8) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی حلالیت پودر را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل 4 مشاهده می‌شود حلالیت پودرها با

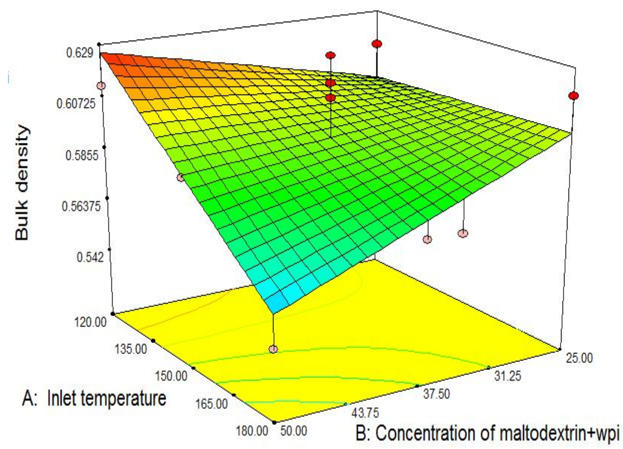
1 Sodium Diclofenac

افزایش دمای ورودی افزایش می‌یابد. زیرا افزایش دما باعث افـزایش اندازه ذرات شده و ذرات درشت با تخلخل بالا سـریع‌تـر در آب حـل می‌شوند، به‌عبارتی آب راحت‌تر در آن‌ها نفوذ می‌کند، امـا ذرات ریـز روی آب شناور باقی می‌مانند (Walton, 2000).

مقادیر حلالیت به‌دست آمده در این پژوهش در مقایسه بـا پـودر آب آناناس که در حدود 81/56 درصد بود بسیار کمتر است (Abadio *et al*., 2004). البته de Sousa و همکاران (2008)، مقدار حلالیـت پودر گوجه‌فرنگی را 17/65 تا 26/73 درصد به‌دست آوردند. بنابراین، این مقادیر کم حلالیت پودر گوجه‌فرنگی به‌دلیل مقادیر پایین قند در مقایسه با بیشـتر آب میـوه‌هـا اسـت، و هـم‌چنـین بـه علـت وجـود کاروتنوئیدها که ترکیبات هیدروفوبی هستند. نتایج مشابهی توسط آل آشـه (2003) و گـولا و همکـاران (2005a)، کـه بـر روی پـودر گوجه‌فرنگی کارکرده‌اند مشاهده شده است.

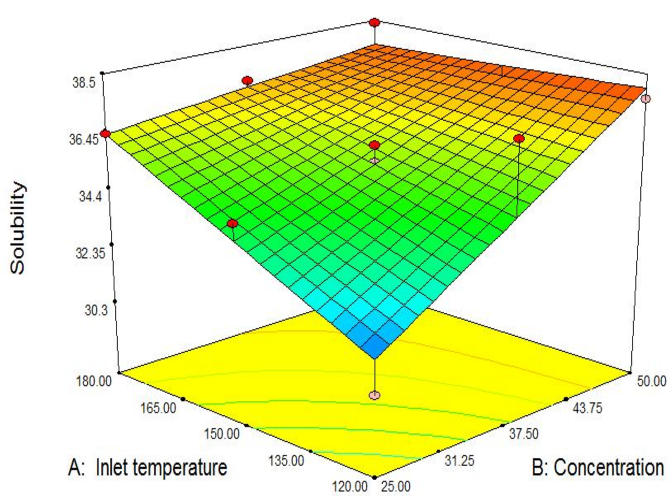
با افزایش غلظت حامل، میزان حلالیت نیز افزایش می‌یابد. ایـن افـزایش بـه علـت حلالیـت بـالای حامـل در آب اسـت و عمـدتاً از مالتودکسترین به‌علت حلالیـت بـالای آن در آب در خشـک کـردن پاششی مواد غذایی به‌عنوان حامل اسـتفاده مـی‌شـود (Cano *et al*., 2005; Grabowski *et al*.,2006).

$$BD = +0/41792 + 1/29444 \times 10^{3} \times T + 6/97333 \times 10^{3} \times C - 4/93333 \times 10^{5} \times T \times C \quad (7)$$



شکل 3- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل بر دانسیته توده پودر

$$S = +5/19091 + 0/16667 \times T + 0/67200 \times C - 3/46667 \times 10^{3} \times T \times C \quad (8)$$

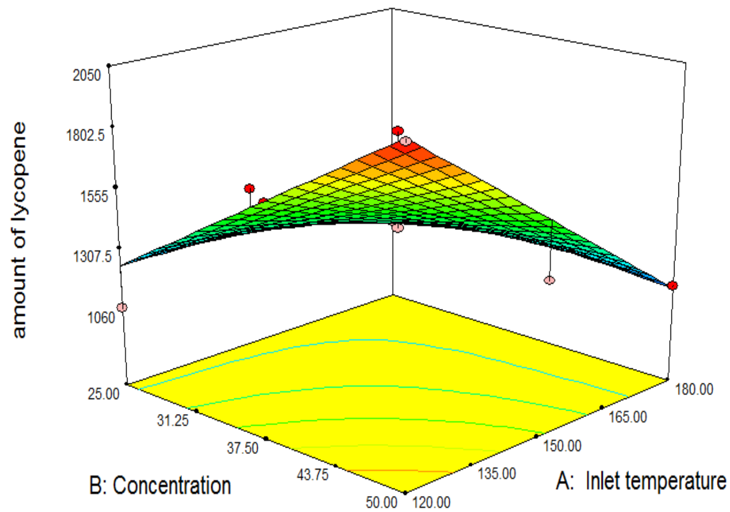


شکل 4- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل بر حلالیت پودر

بررسی مقدار لیکوپن پودر

بررسی نتایج آنالیز واریانس (ANOVA) مقدار لیکوپن پودر نشان داد که اثر سطوح پارامترهای عملیاتی دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر مقدار لیکوپن پودر در سطح اطمینان 95 درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار لیکوپن به ترتیب مربوط به تیمارهای 120°C، 50 درصد وزنی- وزنی و 12 °C، 25 درصد وزنی- وزنی بود. بیش‌ترین مقدار ضریب همبستگی و ضریب همبستگی تنظیم‌شده برای مدل دوفاکتوره و به‌ترتیب برابر72/42 درصد و 60/60 درصد بود. مقدار P برای آزمون عدم برازش، برابر 0/6298 بود. معادله (9) اثرات متغیرهای مستقل دمای ورودی خشک‌کن و غلظت حامل بر روی مقدار لیکوپن پودر را نشان می‌دهد، که در آن Lycopene (مقدار لیکوپن پودر)، T (دما) و C (غلظت حامل) است.

$$Lycopene = -1392/54167 + 15/25911 \times T + 105/49760 \times C - 0/61111 \times T \times C \quad (9)$$



شکل 5- نمودار سه‌بعدی اثر متغیرهای دمای ورودی و غلظت حامل برمقدار لیکوپن پودر

همان‌طور که در شکل 5 مشاهده می‌شود مقدار لیکوپن پودر تولیدی با افزایش غلظت حامل، افزایش و با افزایش دمای هوای ورودی خشک‌کن کاهش می‌یابد. مقدار لیکوپن در رب گوجه‌فرنگی با بریکس 36/5 برابر 3858/51 میکروگرم بر گرم مواد جامد کل بود، درحالی‌که در پودر رب گوجه‌فرنگی تولید شده از 1061/18 تا 2032/29 میکروگرم بر گرم مواد جامد کل متغیر بود. مقادیر کاهش لیکوپن متناسب با افزایش دمای هوای ورودی بود.

میزان واکنش تخریب در مواد غذایی طی خشک کردن عمدتاً توسط دما کنترل می‌شود. برای تمام انواع واکنش‌های شیمیایی، ثابت سرعت تابعی از دما است چون توسط انرژی فعال‌سازی کنترل می‌شود. سرعت تخریب نه تنها تحت تأثیر دما است بلکه توسط رطوبت و در نتیجه فعالیت آبی مواد غذایی، نور و محتوای اکسیژن محلول نیز تأثیر می‌پذیرد. عموماً مقادیر ثابت سرعت واکنش‌های تخریب تحت خلأ و در محیط تاریک کم‌ترین و در معرض هوا و نور بیش‌ترین هستند و این تأییدکننده اثرات سوء نور و اکسیژن است (Sharma *et al*., 1996). به‌طورکلی، واکنش‌های شیمیایی کندتر می‌شوند چون فعالیت آبی کاهش می‌یابد (Karel, 1979). همان‌طور که در طی خشک کردن محصول دما افزایش، درحالی‌که فعالیت آبی کاهش می‌یابد، ثابت سرعت ممکن است ابتدا زمانی که اثر دما غالب است افزایش یابد، درحالی‌که ممکن است بعداً در زمانی که اثر کاهش فعالیت آبی فاکتور غالب می‌شود کاهش یابد (Downey, 1977).

تخریب لیکوپن در محصولات گوجه‌فرنگی طی تیمارهای حرارتی به‌حضور اکسیژن، نور، مقدار رطوبت و درجه حرارت محصول وابسته است و میزان این وابستگی به‌شدت تحت تأثیر شکل محصول است (Goula *et al*., 2006).

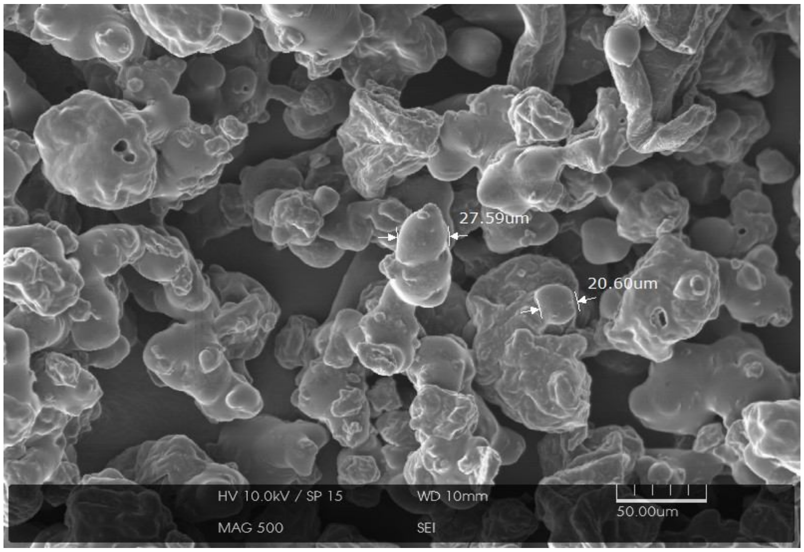
نتایج مشابهی توسط زانونی و همکاران (1999)، میکی و همکاران (1970)، کول وهمکاران (1957)، شرما و همکاران (1996)، بوسکوویچ (1979) و گولا و همکاران (2005)، که به‌ترتیب بر روی خشک کردن قطعه‌های گوجه‌فرنگی، آب گوجه‌فرنگی، پالپ گوجه‌فرنگی، نمونه‌های گوجه‌فرنگی، محصولات گوجه‌فرنگی و پودر گوجه‌فرنگی کارکرده‌اند و همگی به نتایج یکسانی در خصوص کاهش مقدار لیکوپن با افزایش دمای خشک کردن دست یافتند، مشاهده شده است. با افزایش غلظت حامل طبیعی است که به‌دلیل نقش محافظتی آن و تشکیل دیواره در اطراف لیکوپن درصد تخریب

لیکوپن آن کاهش یابد.

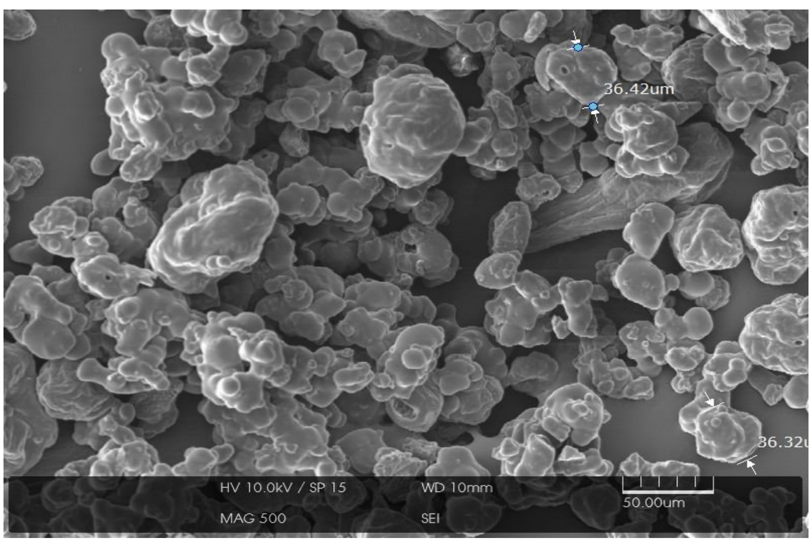
بررسی ریز ساختار و شکل پودر

در طول چند دهه گذشته با توجه به اینکه تعداد زیادی از پدیده‌های مهم کنترل خواص پودرها در زیر مقیاس 100 میکرون اتفاق می‌افتد ساختار ریز پودرها به‌طور گسترده مطالعه شده است (Aguilera, 2005).

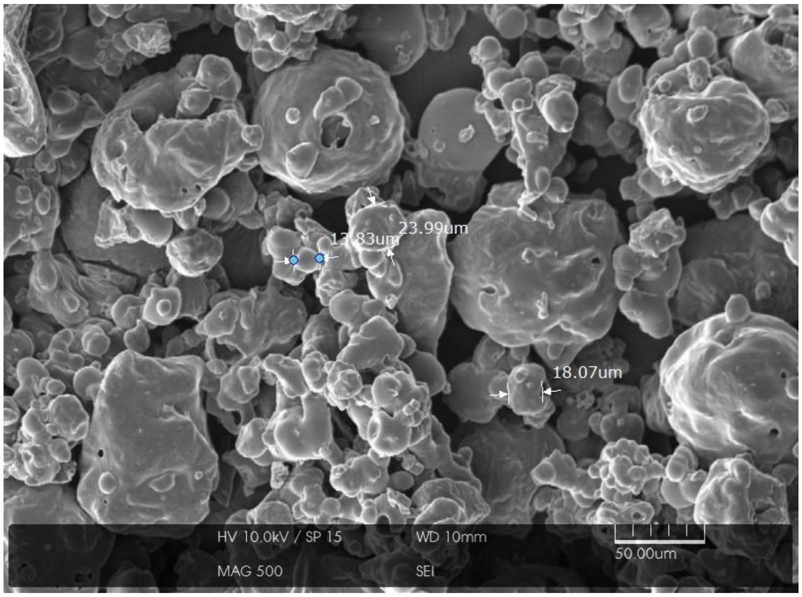
شکل‌های 6 ، 7 و 8 تصاویر پودرهای رب گوجه‌فرنگی گرفته‌شده توسط میکروسکوپ الکترونی رویشی با مالتودکسترین در ترکیب با ایزوله پروتئین آب‌پنیر 25% در دماهای مختلف را بابزرگ‌نمایی 500× نشان می‌دهد.



شکل 6- تصاویر SEM پودر، غلظت حامل 25%، دمای ورودی خشک‌کن 120 با بزرگ‌نمایی 500



شکل7 - تصاویر SEM پودر، غلظت حامل 25%، دمای ورودی خشک‌کن 150 با بزرگ‌نمایی 500



شکل8- تصاویر SEM پودر، غلظت حامل 25%، دمای ورودی خشک‌کن □180 با بزرگ‌نمایی 500

با توجه به شکل‌ها مشاهده شد که تعداد ذرات در یک مقدار معین پودر با افزایش در دمای ورودی افزایش یافت. نتایج مشابهی توسط تونون و همکاران (2008)، گزارش شده است. پودرهایی که در دمای150°C تولید شده‌اند دارای سطح صاف‌تر و شکل‌های کروی بیشتری هستند. نتایج مشابهی توسط سالوا و همکاران (2012)، که بر روی پودر آب طالبی کار کرده‌اند مشاهده شده است.

چروکیدگی بالایی در پودرهایی که در دمای 180°C تولید شده بودند مشاهده شد. این اتفاق ممکن است در ارتباط با انتقال رطوبت در طی دوره کاهش سرعت باشد (Walton, 2000). در سرعت ثابت خشک کردن، سرعت نفوذ آب از داخل به سطح ذره برابر سرعت تبخیر سطح است. زمانی که قطرات به مقدار رطوبت بحرانی می‌رسند، یک پوسته خشکی در سطح ماده غذایی ایجاد شده و سرعت خشک کردن به سرعت کاهش می‌یابد. این ذرات تمایل به متورم شدن دارند و زمانی که تبخیر در دماهای بالا طی دوره کاهش سرعت اتفاق می‌افتد می‌شکنند (Gharsallaoui *et* Oakley, 1997 *al.*, 2007; Rosenberg *et al.*,1988;). آبن و همکاران (2009) و کریشنان و همکاران (2005)، گزارش کردند که پودرهای آب‌میوه‌ها در دمای 180 °C و 190°C یک پوسته چروکیده دارند.

بهینه سازی

شرایط بهینه تولید پودر رب گوجه‌فرنگی توسط خشک‌کن پاشنی برای دست‌یابی به حداقل رطوبت، دانسیته توده‌ای و حداکثر راندمان تولید، مقدار لیکوپن و حلالیت مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق محدوده دمای ورودی (180°C-120) و غلظت حامل (50 - 25 درصد) انتخاب شدند. در نقطه بهینه، دمای هوای ورودی 150 °C و غلظت حامل 50 درصد بود. در این نقطه راندمان تولید، مقدار رطوبت، دانسیته توده ، حلالیت و مقدار لیکوپن پودر به‌ترتیب برابر 60/62%، 2/77%، 0/579 گرم بر میلی‌لیتر، 37/29% و 1371/98 میکروگرم بر گرم بودند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تولید پودر رب گوجه‌فرنگی با استفاده از خشک‌کن پاشنی نیمه‌صنعتی با هدف بیش‌ترین راندمان تولید و حداقل تغییر در خصوصیات فیزیکوشیمیایی و مقدار لیکوپن آن با در نظر گرفتن صرفه اقتصادی انجام گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با افزایش دمای هوای ورودی راندمان تولید، حلالیت، تعداد ذرات، چروکیدگی و ترک‌خوردگی پودر افزایش و مقدار رطوبت، دانسیته توده ومقدار لیکوپن کاهش پیدا کرد. از طرفی با افزایش غلظت حامل راندمان تولید پودر، مقدار لیکوپن، حلالیت، افزایش و مقدار رطوبت و دانسیته توده کاهش پیدا کرد. شرایط بهینه عملیات در دمای 150°C و غلظت حامل 50 درصد وزنی- وزنی حاصل شد.

منابع

Abadio, F. D. B., Domingues, A. M., Borges, S. V., & Oliveira, V. M. (2004). Physical properties of powdered

pineapple (*Ananas comosus*) juice—effect of malt dextrin concentration and atomization speed. *Journal of Food Engineering*, 64(3), 285-287.

Adhikari, B., Howes, T., Bhandari, B. R., & Troung, V. (2004). Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modelling. *Journal of Food Engineering,* 62(1), 53-68.

Aguilera, J. M. (2005). Why food microstructure. *Journal of Food Engineering*, 67(1), 3-11

Al-Asheh, S., Jumah, R., Banat, F., & Hammad, S. (2003). The use of experimental factorial design for analysing the effect of spray dryer operating variables on the production of tomato powder. *Food and bioproducts processing*, 81(2), 81-88.

Anguelova, T., & Warthesen, J. (2000). Lycopene stability in tomato powders. *Journal of Food Science*, 65(1), 67-70.

AOAC International, (2005). Official Methods of Analysis of AOAC. AOAC *International, Gaithersberg*, MD.

Baloch, W. A., Khan, S., & Baloch, A. K. (1997). Influence of chemical additives on the stability of dried tomato powder. *International journal of food science & technology*, 32(2), 117-120.

Banat, F., Jumah, R., Al-Asheh, S., & Hammad, S. (2002). Effect of operating parameters on the spray drying of tomato paste. *Engineering in life sciences*, 2(12), 403-407.

Bhandari, B. R., & Howes, T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40(1), 71-79.

Bhandari, B. R., Datta, N., & Howes, T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying technology*, 15(2), 671-684.

Bhandari, B. R., Senoussi, A., Dumoulin, E. D., & Lebert, A. (1993). Spray drying of concentrated fruit juices. *Drying Technology*, 11(5), 1081-1092.

Bhandari, B., & Howes, T. (2005). Relating the stickiness property of foods undergoing drying and dried products to their surface energetics. *Drying Technology*, 23(4), 781-797.

Bhusari, S. N., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, 354-364.

Boonyai, P., Bhandari, B., & Howes, T. (2004). Stickiness measurement techniques for food powders: a review. *Powder Technology*, 145(1), 34-46.

Bošković, M. A. (1979). Fate of lycopene in dehydrated tomato products: carotenoid isomerization in food system. *Journal of Food Science*, 44(1), 84-86.

Cabral, A. C. S., Said, S., & Oliveira, W. P. (2009). Retention of the enzymatic activity and product properties during spray drying of pineapple stem extract in presence of maltodextrin. *International Journal of Food Properties*, 12(3), 536-548.

Cai, Y. Z., & Corke, H. (2000). Production and properties of spray-dried Amaranthus betacyanin pigments. *Journal Of Food Science-Chicago-*, 65(7), 1248-1252.

Cano-Chauca, M., Stringheta, P. C., Ramos, A. M., & Cal-Vidal, J. (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 6(4), 420-428.

Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23(3), 657-668.

Cole, E. R., & Kapur, N. S. (1957). The stability of lycopene. I.-Degradation by oxygen. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 8(6), 360-365.

de Sousa, A. S., Borges, S. V., Magalhães, N. F., Ricardo, H. V., & Azevedo, A. D. (2008). Spray-dried tomato powder: reconstitution properties and colour. *Braz. Arch. Biol. Tech*, 51(4), 807-814.

Downey, W. K. (1977). Food quality and nutrition, London: Applied Science Publishers. pp. 281–295.

Fang, Z., & Bhandari, B. (2012). Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. *Food Research International*, 48(2), 478-483.

Fazaeli, M., Emam-Djomeh, Z., Ashtari, A. K., & Omid, M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and bioproducts processing*, 90(4), 667-675.

Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A., & Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121.

Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2003). Spray drying performance of a laboratory spray dryer for tomato powder preparation. *Drying Technology*, 21(7), 1273-1289.

Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005a). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66(1), 35-42.

Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2005b). Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT-Food Science and Technology*, 38(5), 479-487.

Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2008). Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. *Drying Technology*, 26(6), 726-737.

Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. Innovative *Food Science & Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.
Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., & Kazakis, N. A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22(5), 1129-1151.
Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Chatzitakis, P. C., & Nikas, V. A. (2006). Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, 74(1), 37-46.
Gould, W. A., & Gould, R. W. (1988). Physical evaluation of color. Total quality assurance for the food industries, CTI Publications, Maryland, *Baltimore*, 231-233.
Grabowski, J. A., Truong, V. D., & Daubert, C. R. (2006). Spray‐Drying of Amylase Hydrolyzed Sweetpotato Puree and Physicochemical Properties of Powder. *Journal of food science*, 71(5), E209-E217.
Greensmith, M. (1998). Practical dehydration. *Woodhead Publishing*.
JU, C., Stout, L. E., & Busche, R. M. (1951). Spray drying of santomerse. *Chemical Engineering Progress*, 47(1), 29-38.
Jumah, R. Y., Tashtoush, B., Shaker, R. R., & Zraiy, A. F. (2000). Manufacturing parameters and quality characteristics of spray dried jameed. *Drying Technology*, 18(4-5), 967-984.
k. Masters, Spray Drying Handbook, 4th, ed., John Wiley and Sons, new York 1985.
Karaaslan, İ., & Dalgıç, A. C. (2014). Spray drying of liquorice (*Glycyrrhiza glabra*) extract. *Journal of Food Science and Technology*, 51(11), 3014-3025.
Karel, M. (1979). Prediction of nutrient losses and optimization of processing conditions. In Nutritional and safety aspects of food processing (pp. 233-263). *Marcel Dekker* New York.
Kaushik, V., & Roos, Y. H. (2007). Limonene encapsulation in freeze-drying of gum Arabic–sucrose–gelatin systems. LWT-*Food Science and Technology*, 40(8), 1381-1391.
Kha, T. C., Nguyen, M. H., & Roach, P. D. (2011). Effects of pre-treatments and air drying temperatures on colour and antioxidant properties of Gac fruit powder. *International Journal of Food Engineering*, 7(3).
Kjaergaard, O. (1974). U.S. Patent No. 3,857,332. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
Krishnan, S., Bhosale, R., & Singhal, R. S. (2005). Microencapsulation of cardamom oleoresin: Evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modified starch as wall materials. *Carbohydrate Polymers*, 61(1), 95-102.
Kurozawa, L. E., Park, K. J., & Hubinger, M. D. (2009). Effect of carrier agents on the physicochemical properties of a spray dried chicken meat protein hydrolysate. *Journal of Food Engineering*, 94(3), 326-333.
Kwapińska, M., & Zbiciński, I. (2005). Prediction of final product properties after cocurrent spray drying. *Drying technology*, 23(8), 1653-1665.
Lovrić, T., Sablek, Z., & Bošković, M. (1970). Cis‐trans isomerisation of lycopene and colour stability of foam—mat dried tomato powder during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 21(12), 641-647.
Masters, K. (1979). Spray-air contact (*mixing and flow*). Spray drying handbook, 4, 263-269.
Miki, N., & Akatsu, K. (1970). Effect of heat sterilization on the color of tomato juice. Nihon Shokuhin Kogyo Gakkai, 17, 175–181.
Mishra, P., Mishra, S., & Mahanta, C. L. (2014). Effect of maltodextrin concentration and inlet temperature during spray drying on physicochemical and antioxidant properties of amla (*Emblica officinalis*) juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 92(3), 252-258.
Nurhadi, B., Andoyo, R., & Indiarto, R. (2012). Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. *International Food Research Journal*, 19(3), 907-912.
Oakley, D. E. (1997). Produce uniform particles by spray-drying. *Chemical engineering progress*, 93(10), 48-54.

Obón, J. M., Castellar, M. R., Alacid, M., & Fernández-López, J. A. (2009). Production of a red–purple food colorant from Opuntia stricta fruits by spray drying and its application in food model systems. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 471-479.
Papadakis, S. E., Gardeli, C., & Tzia, C. (2006). Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*, 24(2), 173-180.
Peng, Z., Li, J., Guan, Y., & Zhao, G. (2013). Effect of carriers on physicochemical properties, antioxidant activities and biological components of spray-dried purple sweet potato flours. LWT-*Food Science and Technology*, 51(1), 348-355.
Phisut, N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, 19(4), 1297-1306.

Phoungchandang, S., & Sertwasana, A. (2010). Spray-drying of ginger juice and physicochemical properties of ginger powders. *Science Asia*, 36, 40-45.
Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392.
Rattes, A. L. R., & Oliveira, W. P. (2007). Spray drying conditions and encapsulating composition effects on formation

and properties of sodium diclofenac microparticles. *Powder Technology*, 171(1), 7-14.

Rosenberg, M., Talmon, Y., & Kopelman, I. J. (1988). The microstructure of spray-dried microcapsules. *Food Structure*, 7(1), 14.

Sharma, S. K., & Le Maguer, M. (1996). Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. *Food Research International*, 29(3), 309-315.

Shrestha, A. K., Ua-Arak, T., Adhikari, B. P., Howes, T., & Bhandari, B. R. (2007). Glass transition behavior of spray dried orange juice powder measured by differential scanning calorimetry (DSC) and thermal mechanical compression test (TMCT). *International Journal of Food Properties*, 10(3), 661-673.

Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., & Liu, X. (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray-drying. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 664-669.

Solval, K. M., Sundararajan, S., Alfaro, L., & Sathivel, S. (2012). Development of cantaloupe (Cucumis melo) juice powders using spray drying technology. *LWT-Food Science and Technology*, 46(1), 287-293.

Tang, S., TeKrony, D. M., Egli, D. B., & Cornelius, P. L. (1999). Survival characteristics of corn seed during storage: II. Rate of seed deterioration. *Crop Science*, 39(5), 1400-1406.

Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of acai (Euterpe oleraceae Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411-418.

Tsujimoto, K., Okudaira, S., & Tachi, S. (1991). Low-temperature microwave plasma etching of crystalline silicon. *Japanese journal of applied physics*, 30(12R), 3319.

Wallman, H., & Blyth, H. A. (1951). Pilot Plants. Product Control in Bowen-Type Spray Dryer. *Industrial & engineering chemistry*, 43(6), 1480-1486.

Walton, D. E. (2000). The morphology of spray-dried particles a qualitative view. *Drying Technology*, 18(9), 1943-1986.

Woo, M. W., Bhandari, B., Bansal, N., Zhang, M., & Schuck, P. (2013). Spray drying for food powder production. *Handbook of Food Powders: Processes and Properties*, 29.

Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., & Mousavi, S. M. (2011). Effect of carrier type and spray drying on the physicochemical properties of powdered and reconstituted pomegranate juice (*Punica Granatum* L.). *Journal of food science and technology*, 48(6), 677-684.

Zanoni, B., Peri, C., Nani, R., & Lavelli, V. (1998). Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food Research International*, 31(5), 395-401.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 13, No. 5, Dec- Jan 2018, p. 647-662

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 13، شماره 5، آذر - دی 1396، ص. 662-647

Optimization of tomato paste powder efficiency production by spray dryer and evaluation of its quality characteristics

A. dezyani[1*], A. Mohammad Ziyaeifar[2], S. M. Jafari[3], M. Ghorbani[3], A. R. Sadeghi Mahoonak[3]

Received: 2015.12.22
Accepted: 2016.04.30

Introduction: High sensitivity of fruit and vegetables juices to heat has been resulted to the development of spray drying method for drying this category of products. Spray drying is a well-established and widely used method for transforming a wide range of liquid food products into powder form. The process involves spraying finely atomized solutions into a chamber where hot dry air rapidly evaporates the solution leaving the spray-dried particles. Spray-dried powders can be stored at room temperature for prolonged periods without compromising the powder's stability. Powders are cheaper to transport and easier to handle in manufacturing plants. Spray-dried powders are economical to produce compared to other processes, such as freeze-drying. Spray drying has many applications, particularly in the food, pharmaceutical and agrochemical industries. The conversion of high value food materials, such as fruit and vegetable extracts, into particulate form is not easy due to the presence of a high proportion of low molecular weight sugars in their composition which lead to the problem of stickiness. The particles stick to one another, to the dryer and to cyclone walls and remain there, forming thick wall deposits, while very little product comes out at the dryer's exit. This might lead to low product yield and operating problems. In general, the stickiness causes considerable economic loss and limits the application of spray drying on foods as well as on pharmaceutical materials. In order to reduce stickiness, different solutes have been used as carriers and coating agents for the spray drying. Some examples of these are Arabic gum, maltodextrins, starches, gelatin, methyl cellulose, gum tragacanth, alginates, pectin, silicon dioxide, tricalcium phosphate, glycerol monostearate and mixtures of some of them. Of these additives, maltodextrin offers a good compromise between cost and effectiveness. It has been found that it contributes to the retention of some food properties, such as nutrients, color and flavor, during spray drying and storage. On the other hand, the feed flow rate, the inlet and outlet air temperatures, atomizer speed, feed concentration, feed temperature and inlet air flow rate are important factors that have to be controlled in a spray drying process. Tomato paste is a typical example of a product that is very difficult to be spray dried due to the low glass transition temperature of the low molecular weight sugars present.

Materials and methods: This study was carried out to evaluate the effect of inlet air temperature of dryer (120, 150 and 180 °C) and concentration of drying aid or carrier agent of maltodexterin along with whey protein concenterate ratio of 4 to 1 (25, 37.5 and 50% w/w) on the quantitative and qualitative properties of tomato paste powder including moisture content, bulk density, solubility, powder morphology, amount of lycopene, and production efficiency. Response surface methodology was used to choose optimum conditions of the powder production process.

Results and Discussion:the results revealed that the production efficiency (not significant) and solubility (significant) were increased with increased higher inlet air temperatures of dryer; however, at these conditions moisture content (significant), bulk density (not significant) and amount of lycopene (significant) in the powder were decreased also higher concentrations of carrier agent increased the production efficiency, solubility and amount of lycopene in the powder; however, moisture content and bulk density of powder were decreased.

---

1. M. Sc., Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran..
2. Assistant Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3. Associate Professor, Faculty of Food Science & Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
(*Corresponding Author Email: ziaiifar@gau.ac.ir)

Conclusion: Optimal conditions in order to achieve maximum production efficiency, solubility, the amount of lycopene and the lowest moisture content of powder, bulk density were achieved at inlet temperature of 150°C and carrier agent concentration of (w/w) 50%.

Keywords: Tomato Paste Powder, Spray Drying, Carrier Agent of Maltodextrin with Whey Protein Isolate, Optimization